JAXA's

［ジャクサス］*November 2011*

宇宙航空研究開発機構機関誌

No.041

日本初の測位衛星「みちびき」が社会を変える

小惑星イトカワがふたたび科学誌『Science』の表紙を飾る

Dr.古川の宇宙医学実験レポート

“3本の矢”パワーで宇宙を目指す
油井亀美也 大西卓哉 金井宣茂宇宙飛行士

宇宙航空研究開発機構機関誌

INTRODUCTION

今号の表紙は新しくISS搭乗宇宙飛行士に認定された油井、大西、金井宇宙飛行士です。２年あまりの基礎訓練を終え、ずいぶん引き締まった顔つきになったと感じますが、いかがでしょうか。お互いの存在を“３本の矢”になぞらえて切磋琢磨する３人に、宇宙を目指す熱い思いを語り合ってもらいました。巻頭特集では、準天頂衛星初号機「みちびき」を利用した民間企業の利用実証実験をご紹介。防災から農業まで、私たちの暮らしをよりよく導く「みちびき」の活躍にご期待ください。さて、小惑星探査機「はやぶさ」の使命を、公開中の映画で詳しく知った方もいらっしゃると思います。成果の１つ、持ち帰ったイトカワ微粒子の分析はどこまで進んでいるのでしょう。８月26日発行の科学誌『Science』に、６人の研究者による論文が発表されました。詳しい分析結果をそれぞれの研究者にインタビュー。太陽系起源の謎に迫ります。はや４カ月を経過した古川聡宇宙飛行士の国際宇宙ステーション滞在。今号では医師の経験を生かして実施された宇宙医学実験をレポートします。今月の地球帰還までまだまだミッションは続きます。皆様の応援、どうぞよろしくお願いいたします。

CONTENTS

表紙：左から金井宣茂、油井亀美也、大西卓哉宇宙飛行士。現在NASAジョンソン宇宙センターを拠点に、T-38ジェット練習機での飛行訓練や語学訓練を行っている。10月には大西宇宙飛行士が、フロリダ州沖合の海底約20mに設置されている米国海洋大気庁（NOAA）の「アクエリアス」と呼ばれる閉鎖施設内で、NASAの極限環境ミッション運用訓練に参加した。
ISS画像出典：JAXA/NASA
宇宙飛行士画像：TAYAMA Tatsuyuki

実用化へ向け防災から農業まで100テーマを超える実験開始

日本初の測位衛星「みちびき」が社会を変える

2010年9月に打ち上げられた準天頂衛星初号機「みちびき」の利用実証実験が、2011年1月からスタートした。将来の日本のインフラとして期待され、実験には多くの企業や団体が参加している。どのような実験が実施され、どのような結果が出ているのか。実用化に向けて進む利用実証実験の最前線を取材した。

打ち上げから1年「みちびき」の現状

2010年9月11日に打ち上げられてからおよそ1年、これまで数多くのニュースや記事に紹介されたことで、日本国内における準天頂衛星初号機「みちびき」の知名度は高くなり、その役割も浸透しつつある。

「『みちびき』を使った実験は順調です」と語るのは、衛星利用推進センター準天頂衛星システム利用推進チームの小暮聡ミッションサブマネージャ。「軌道投入後、3カ月の初期機能確認期間を経て、昨年12月から技術実証実験が始まりました。『みちびき』の信号の技術特性の評価を準天頂衛星システムの地上局で受信したデータを用いて進めるとともに、その効果をビルの谷間や森の中などのさまざまな環境で評価するために、『みちびき』に対応した測量用受信機やロガーを配布しました。全国の大学、測量関係会社、タクシー会社、運送会社、林野庁森林管理局、林務環境事務所など約55機関の協力によって着実にデータが集まっています。技術実証実験で得られたデータはJAXA内で評価を行い、参加研究機関と共有するとともに、成果はインターネット上（Qz-vision）でも公開する予定です」

なお、12年度からはアジア・オセアニア地域での共同実証実験など海外での利用を推進する活動が行われていく。

11年6月22日と7月14日に、「みちびき」の信号に含まれていたアラートフラグの解除が行われた。アラートフラグが付けられている信号を受信した機器は、その信号が測位には利用できない状態にあると判断し、測位計算から除外する。つまり、アラートフラグの解除により、「みちびき」の信号を一般の方でも利用できるようになった。

「今の段階では、『みちびき』に対応したGPS受信機でなければ『みちびき』の信号は利用できません。しかしアラートフラグの解除によって、市販のGPS受信機でも『みちびき』対応が進んでいくでしょう」（小暮ミッションサブマネージャ）

いよいよ「みちびき」は、技術実証段階から、どのように利用して私たちの暮らしに役立てていくかを検討する利用実証の段階に入ったと言える。

発生直後から、必要な情報を必要な人に リアルタイム防災ソリューションの構築

株式会社NTTデータ

地上の通信設備が使用不能でも「みちびき」から情報を送信

NTTデータは、2009年から文部科学省・宇宙利用促進調整事業の一環として、アジア航測株式会社、株式会社パスコ、慶應義塾大学などと共同で「Red Rescueプロジェクト」を立ち上げ、「みちびき」を使って、広域同報小容量データを利用したリアルタイム防災ソリューションの構築の実験を行っている。具体的には、「みちびき」が発信しているL1-SAIF信号（※）を利用したメッセージ送受信システムと、屋内でも位置情報などのメッセージを送信できるシステム"IMES（Indoor Messaging System）"を組み合わせ、いつでもどこでも避難を呼びかける緊急メッセージを受信できる防災システムを構築するための実験だ。

「『みちびき』を利用した防災メッセージの利点の1つは、衛星からメッセージが送信されるため、万が一地上の通信施設が使用不能であっても送受信できる点です」（木村さん）

3月の東日本大震災では、インフラが断絶して固定電話や携帯電話が不通になってしまったが、NTTデータが進めている実験では、「みちびき」の信号が受信できる範囲にいれば、情報をリアルタイムで入手できるようになる。さらに、「みちびき」の受信機は既存のGPS受信機に近い構造で、受信機の小型化が比較的容易なため、携帯電話やスマートフォンなどの端末に組み込みやすいというメリットもある。専用端末を作れば、大きなデータの送受信も可能となるが、一般に広く利用してもらうには既に普及している携帯電話などのモバイル端末で利用できることが重要だ。

情報の空白を埋めるツールとして実用化を探る

11年3月に、横浜駅東口地下街ポルタで「みちびき」に対応した受信機とスマートフォンを使った実証実験が行われた。受信機が受信したL1-SAIFの短いメッセージがスマートフォンに送られると、その信号をトリガーにして、内蔵されているアプリケーションが受信した情報を表示、続けて「避難経路表示」や「安否確認」など、災害発生直後に取りうる行動を示すアクションメニューが表示される。実験では、画面に地下街の避難経路が3D表示され、それに従って出口まで到達できるかが試された。実験の結果、屋内ではあったが、小容量データでも端末内に収められたコンテンツと組み合わせることで、効果的に避難誘導が出来ることが確認できた。12年1月に予定されている実験では屋外を含む広域な場所で避難誘導の確認が行われる。

実験は順調に進んでいるが、今後の検討課題も挙げられている。

「地図の表示方法に関しては、2D、3Dのどちらが適しているのか、災害後に道路が寸断されるなど情報が変化した場合にはどのように対処するのか、といった問題があります。また、現時点では6秒に1回メッセージを送信する仕様となっていますが、果たしてこの回数が防災メッセージとして適しているのかを確認する必要もあるでしょう。毎秒250ビットというデータ通信速度についても同様です」（礒さん）

地域による情報の振り分けも考えられている。「みちびき」からの信号は日本全国に一斉送信されるため、必要のない地域でも同じメッセージを受信してしまうが、メッセージの先頭に地域情報を付加し受信者の位置情報と照らし合わせることで、防災メッセージを必要な人にだけ送信できる。

NTTデータでは、このシステムを災害発生直後における「情報の空白を埋めるツール」として実用化するべく、地震・津波以外のさまざまな災害にも対応することを視野に入れ、実証実験を続けていく。

※測位補正情報、GPSの健全性に関する情報などを搭載したGPS補強信号

木村宗貴
KIMURA Munetaka
㈱NTTデータ
リージョナルビジネス事業部
e-コミュニティ事業部
第三システム開発担当
シニアエキスパート

礒 尚樹
ISO Naoki
㈱NTTデータ
リージョナルビジネス事業部
e-コミュニティ事業部
ホームランドセキュリティ担当
課長

横浜駅東口地下街ポルタでの実験

1 緊急情報受信（一斉同報）

2 緊急情報受信（場所別）

3 アクション呼出

4 避難経路表示

5 避難経路を見ながら避難

6 階段に到着

作物にも、人にも、環境にも優しい IT農業の実現を目指して

日立造船株式会社

センチメートル級の制御で1株1株を丁寧に育てる

日立造船が進めるのは、「IT農業の実現に向けた準天頂衛星による高精度走行システムの実証実験（※）」だ。この実験の目的は、「みちびき」の補強信号を利用して農機を自動走行させることで、農業のIT化に繋げようとするもの。しかし、日立造船がなぜ「みちびき」を利用した実験を行うのか、なぜ農業なのだろうか。

日立造船は25年ほど前に船舶用GPS受信機を手掛けてから、これまでに数々のGPS関連事業を行ってきた。船舶以外では、緊急車輌用のカーナビゲーションシステムや国土地理院が全国約1200カ所に設置している電子基準点、港湾局のGPS波浪計などの実績を持っている。また、雲仙普賢岳で発生した土石流の災害現場では、GPS信号を利用した建設車両の正確な移動体管理を行い、無人化施工による復旧作業の支援を行った。こうした経緯から、日立造船はSPACの衛星測位補強事業推進委員会のIT自動走行ワーキンググループに参加し活動している。農機の自動走行をテーマに選択した理由は、「みちびき」を利用した自動走行を考えた時、センチメートル単位の制御が実現できるなら、農業分野での実用化が最もインパクトが大きいと考えてのこと。

「海外の大規模農業を見ると、セスナやヘリコプターで農薬を散布するなど、〝面〟で作業を行っています。〝面〟の農業が衛星測位技術によって畝単位の〝線〟の農業に、さらに「みちびき」によってセンチメートル単位の制御が可能になれば、いわば〝点〟の農業ができるようになります。使用する水や農薬、肥料も、その作物に適した量にできる。リモートセンシング技術と組み合せて生育管理すれば〝必要な場所〟だけに〝最適な量〟与えることができるのです」（神崎さん）

神崎政之
KANZAKI Masayuki
日立造船㈱
機械・インフラ本部
開発センター GPS測位部
主席技師

2月につくば市の農村工学研究所の敷地で行われた実験。トラクターの上部にGPSアンテナと「みちびき」アンテナが取りつけられている

富良野での実験は成功 現場の声を取り入れて課題に取り組む

2011年2月に行われた実証実験では、上部にGPSアンテナと「みちびき」アンテナを設置したトラクターを使用して、直線や走行実験が行われた。同時に行われた定点観測でも、環境の変化による位置のずれは数cmの範囲内に収まり、「みちびき」の精度の高さも証明された。また、今年9月の国連第6回ICG会議におけるテクニカルツアーでは、北海道大学の自律走行農機を使用して「みちびき」による無人走行デモンストレーションを初めて実施した。無人走行といっても、安全のため緊急停止スイッチを持った人間が一緒に移動して万が一の場合に備え、トラクターにはバンパーが取り付けられ、障害物等に接触した場合には停止するなどの安全対策も施している。自動走行は時速5kmの低速走行で行い、走行中は1秒に5回の間隔で測位を行った。通常GPSだけを使った場合は1～10mの誤差が生じるが、「みちびき」信号を併用すると誤差は数cm程度となり、十分実用に利用できることが確認された。

10月12日には、北海道の上富良野の畑で実証実験が行われた。実験に立ち会った農業関係者からは、昼夜問わず作業できる点や正確な走行が実現できる農機制御に関心が集まり、1日も早く準天頂衛星システムが利用できるようにして欲しいという要望が出た。

今後は、「みちびき」の信号が利用できるアジア各国やオーストラリアへの展開も視野に入れている。

「農機の自動走行技術が日本独自の技術として確立すれば、国内だけでなく海外に技術を輸出することも可能になります」（神崎さん）

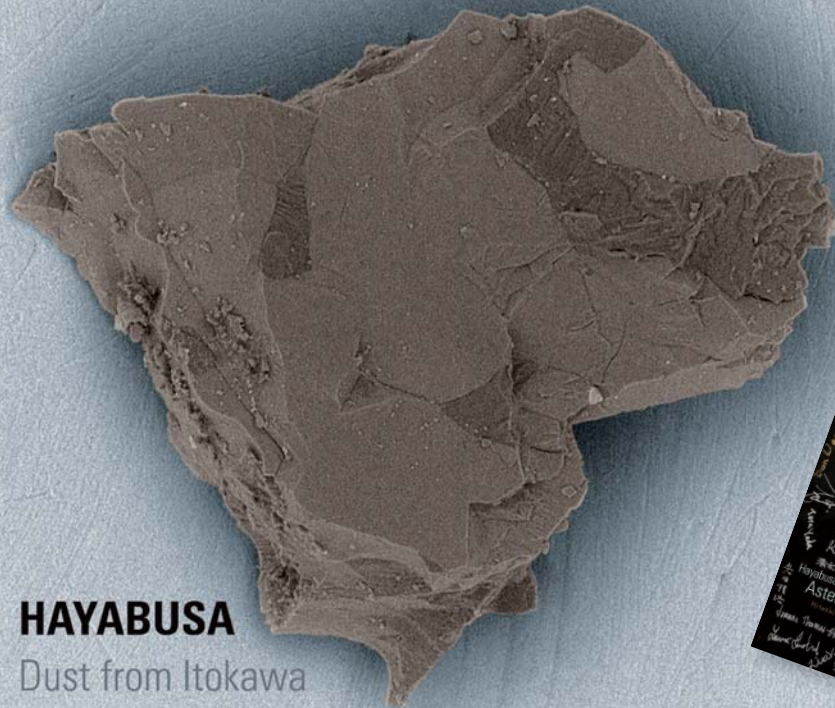
近い将来、開墾から作付け、収穫までの農作業がすべて無人で行われるようになる日が来るかもしれない。ただ、実際に農業に携わっている人々からは、自動化してしまうと農業としてのやりがいがなくなってしまう、という声も聞かれるとのこと。すべてを自動化するのではなく、人間の負担が大きい作業だけにとどめるという方法も考えられる。いずれにせよ、この利用実証実験の成果によって、日本の農業が大きく変わることは確かだ。

※文部科学省地球観測技術等調査研究委託事業

「みちびき」の利用拡大に向け民間企業の実証実験を推進

財団法人衛星測位利用推進センター

SPAC（㈶衛星測位利用推進センター）は、測位衛星に関連する企業や団体と連携し、衛星測位を利用した活動の普及や利用研究の推進を行っています。その活動の1つとして、「みちびき」の民間利用実証実験ための機器貸し出しや取りまとめを行っています。SPACが行った民間による「みちびき」の利用実証実験への参加募集では、2011年8月末で締め切った第三次募集までで、100件を超える実験テーマが提出されました。内容は、測量やカーナビゲーション、防災、鉄道やバスの運行、IT施工、ロボットへの利用など多岐にわたります。第一次、第二次の応募の際には複数の企業・団体による共同協力実験が多かったのですが、第三次ではそれぞれの企業・団体が競合するようなテーマが増えたと感じます。「みちびき」を利用した産業への展開が、より現実味を帯びてきたという証でしょう。（談）

松岡 繁
MATSUOKA Shigeru
（財）衛星測位利用推進センター
利用推進本部
副本部長

関係者が記念にサインをした2006年6月2日号「小惑星イトカワ特集」

「はやぶさ」が持ち帰った微粒子の電子顕微鏡写真が『Science』の表紙を飾った
©Science

小惑星イトカワがふたたび科学誌『Science』の表紙を飾る

米科学誌『Science』が27ページを割いて小惑星探査機「はやぶさ」の成果を伝える特集号を出したのは2006年6月のことでした。満身創痍の帰還、微粒子の発見と分析を経て、今年8月、サンプル初期分析の成果を伝える6編の論文が掲載された同誌の表紙を、前回に比べ約100万倍に拡大された「イトカワ」が、再び飾りました。

このニュースを伝える記者会見はJAXA東京事務所と仙台の東北大学を結んで行われました。グッドニュースを発信し東北を元気づけようと、論文の筆頭著者であり初期分析チームのメンバーでもある6人の先生方が全国から仙台に集結。分析に大きな貢献を果たし、震災で被害を受けた、高エネルギー加速器研究機構の担当者もプレゼンテーションに参加して、復旧支援に関する謝辞を述べたのも、忘れがたいひとコマでした。

＊

さて本稿では、その6名の先生方に次のような質問を投げかけました。

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

読者の理解の助けとなるよう、なるべく平易な表現でのお答えをお願いし、先生方には多大なご協力をいただきました。たとえも交えてそれらをコメントの形にまとめましたが、もし厳密さに欠けると感じられる部分があるとすれば、筆者の責によるものであることを、あらかじめお断りしておきます。

JAXAシニアフェローである川口淳一郎教授（元「はやぶさ」プロジェクトマネージャー）は、今回の慶事に寄せて次のように述べています。

「空間を拓くことで、あらたな姿があきらかになるという、我が国の宇宙開発がかつて夢にまで見た新しい次代が到来していることを実感させるものです」

そして、震災被害の苦労や時代の閉塞感に触れつつ、

「我が国の次世代を担う若人に、挑戦する心と自信を植えつけることにつながればと切望するものです」とステートメントを結んでいます。

原始太陽系の姿を伝える「動かぬ証拠」を手にした私たちは、太陽系の起源に関する新たな理解の地平を拓くことができました。新しい時代の始まり、と言っていいのかもしれません。人類初のサンプルを目の当たりにした先生方の言葉から、その興奮と次なる分析・次なる探査への期待感を、感じていただければと思います。

（文／喜多充成）

Oxygen Isotopic Compositions of Asteroidal Materials Returned from Itokawa by the Hayabusa Mission

はやぶさ計画によりイトカワから回収された小惑星物質の酸素同位体組成

圦本尚義 YURIMOTO Hisayoshi
北海道大学大学院 理学研究院 教授

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

惑星を作る元素の半分以上は酸素であり、その「同位体比」は天体ごとに異なるといわれています。同位体とは「化学的性質は同じだが、重さだけが異なる原子」のことで、酸素では３種類の安定な同位体が存在します。そして同位体の存在比率は、試料のふるさとについての重要な情報を含んでいます。私たちの研究グループでは、世界で唯一の「同位体顕微鏡」を使って28個の微粒子を分析しました。

2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

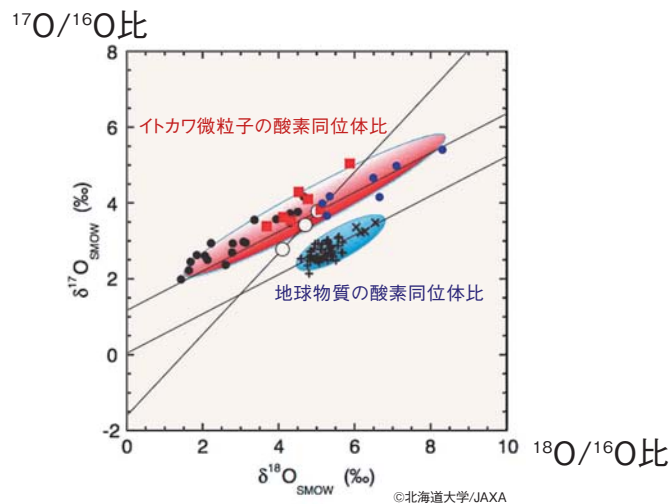
高速で飛ぶ原子を試料にぶつけると、その表面に直径10μm程度のクレーターができます。こうして試料の表面を「掘り返す」ことで、試料に含まれる酸素原子を分析する手法を開発しました。同位体比を調べる作業とは、掘り返されて飛び出した原子１個１個を漏らさず捕まえ、同位体ごとの個数比を測っていく作業にほかなりません。

この分析を行った「同位体顕微鏡」は、「はやぶさ」ミッションが立ち上がる以前から、この種の分析を視野に入れ取り組んできたものです。

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

今回の試料の酸素同位体比は、地球上の物質とは明らかに異なっていました。また、ある種の隕石に含まれる鉱物とよく似ていました。これは今後の隕石研究や惑星探査に大きな手がかりを与えるものです。この手がかりを生かすことで、どの隕石がどの小惑星からやってきたか、ふるさとの天体についてビビッドな理解が得られることでしょう。そして、「はやぶさ２」が目的とするC型小惑星のサンプル分析がますます楽しみになってきました。私たちの生命を支える「水（H_2O）」の起源解明について、大きな鍵を見つけられるかもしれません。

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

震災でというのは特にありませんが、サンプルケースを収めたカバンを携え、NHKさんの取材カメラつきで九州大学（博多）から北海道大学（札幌）まで、陸路を１日で移動したのは貴重な経験でした。日本は狭いようで広いし、広いようで狭い、と妙な実感を持ちました。

イトカワ微粒子と地球物質の酸素同位体比
地球上の物質とは由来が異なるものであることが判明

同位体顕微鏡を使った分析の様子

Itokawa Dust Particles: A Direct Link Between S-Type Asteroids and Ordinary Chondrites

小惑星イトカワの微粒子：S型小惑星と普通コンドライト隕石を直接結び付ける物的証拠

中村智樹 NAKAMURA Tomoki
東北大学大学院 理学研究科 准教授

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

「最もポピュラーなタイプの隕石は、小惑星起源である」という物的証拠を手に入れたということです。人類初の試料を分析したことで、これまでは「〜であろう」だったことを「〜である」と断言できるようになった。いわば「現行犯逮捕」。今回の初期分析の主目的の１つが達成されたわけです。個人的には「〜ではなかった」という結果が出ても面白かったと思うのですが（笑）、そんなことは起こらず、学会発表でも世界中の隕石学者から賞賛と安堵の拍手を浴びました。

2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

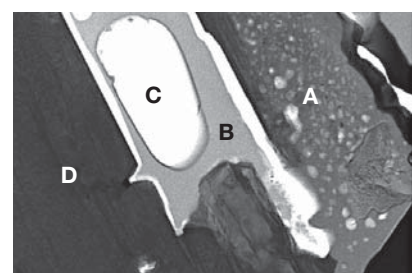
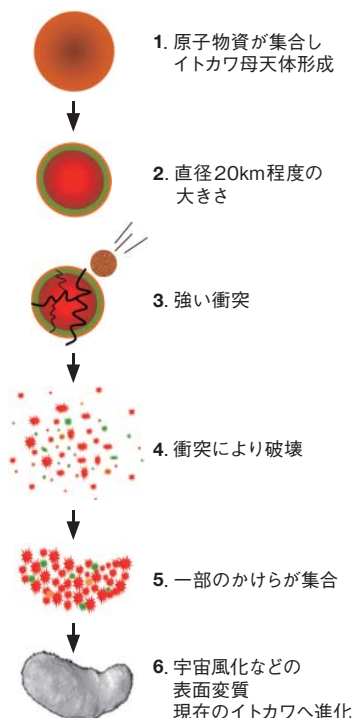
きわめて明るいＸ線ビームを当て、微細な領域の結晶構造から鉱物種を知る「Ｘ線回折分析」と、試料中の元素の種類や量を調べる「蛍光Ｘ線分析」を同時に行う、オリジナルの分析システムを使いました。ヒ素カレーの分析で知られる中井泉先生（東京理科大）など“放射光マフィア”からのアドバイスもいただいています。私はこれまでにも隕石や宇宙塵のほか、2006年に帰還したNASAのスターダスト計画の試料（彗星の尾の微粒子）分析にも関わり、分析システムの改良も経て「5μm（マイクロメートル）の大きさでもいける」と自信を持っていました。が、今回の試料は30〜150μm。楽勝でした。Ｘ線ビームをわざわざ弱めて使う場合もあったほどです。

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

例えば輝石という鉱物は、ある条件が整うと、過去に経験した最大の温度を「記憶」する場合があります。私たちはこれを「輝石温度計」と呼んでいます。他にもこうした指標はたくさんあり、それらを総合すると今回の試料が経験した最高温度は「約800℃」ということが言えます。ここから芋づる式に「母天体の大きさ」や「イトカワ生成のメカニズム」にさかのぼることができました。また、強い衝撃を受けた痕跡が見つかった試料もありました。衝突はいつ起きたのか。何とぶつかったのか。あるいは、違う天体からのチリも、表面に積もっていたのではないか……。わずかな手がかりをもとに事件の真相を描き出すプロセスには、科学捜査ドラマのような面白さがあります。

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

試料の配布は２月初めでしたから、もしそれが１カ月遅れていたら私はこの分析にかかわれなかったと思います。また震災から１カ月間、東北大のキャンパスは入構禁止となりました。私は自宅で余震を感じながら、３つの仕事に取り組みました。①ガスが止まっていたので、電気ポットで沸かしたお湯を湯船に注ぐのを約100回繰り返す。これで風呂１回分でした。②近所の肉屋さんの行列に並んでコロッケを買う。③その合間に『Science』の論文を書く……。この頃のことは一生忘れないでしょう。

イトカワ形成史

多くのイトカワ微粒子に、強い衝突の痕跡を確認
A. 強い衝撃で溶融し発泡した斜長石
B. 包埋に使用した樹脂
C. 穴
D. Mgに富みCaに乏しい単斜輝石

Three-Dimensional Structure of Hayabusa Samples: Origin and Evolution of Itokawa Regolith

はやぶさサンプルの３次元構造：イトカワレゴリスの起源と進化

土山 明 TSUCHIYAMA Akira
大阪大学大学院 理学研究科 教授

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

天体の表面にある細かな砂状の物質を「レゴリス」と呼びます。私たちのグループは初期分析のトップバッターとして、イトカワのレゴリス40粒について、３次元形状と内部構造に加え、どんな材料(鉱物)でできているかを詳細に調べました。そして試料がどういう履歴を経たものなのかを推定しました。

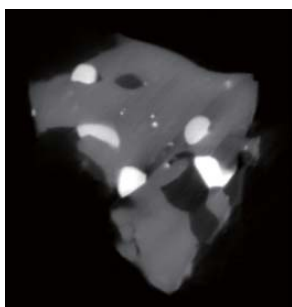
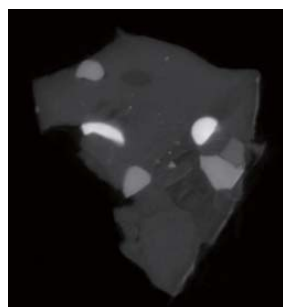
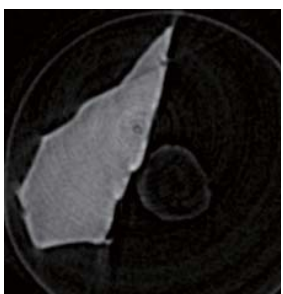
2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

試料の分析にはＸ線マイクロCT(断層撮影)装置を使用しました。Ｘ線光源には、世界最大級の放射光実験施設「SPring-8」の高輝度Ｘ線を使ったため、非常に高い空間分解能(細かな形状を違いを見分ける能力。今回は髪の毛の太さの1,000分の１程度)が実現しています。また、異なるエネルギー(波長)のＸ線を当て、得られた像の違いを読み取ることで、含まれている鉱物を同定する分析も、今回初めて可能になりました。「PF」(フォトン・ファクトリー)や「SPring-8」など、日本の放射光科学の蓄積があってこそ、今回のような分析も可能となっているわけです。

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

レゴリスはそもそも天体表面の物質が隕石などの衝突により破壊されてできたものですが、今回の試料の中には角の取れたものもあります。衝突による振動を受けて角が丸まったものと考えられます。今回の試料と月のレゴリスの比較から、重力の小さい天体ならではの性質を読み取ることもできました。当然ながら、天体観測や隕石の分析では決して分からなかった小惑星の姿が明らかになりました。

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

初めてイトカワ粒子を見た時は、宝石のような美しい粒子に感激しました。また、3・11大震災はアメリカのヒューストンで分析成果の最初の学会発表を行ったその日の夜のことでした。宿泊先のホテルでインターネット越しにほぼリアルタイムで見た地震とその後の津波の映像や、繰り返されたテレビニュースの映像を、今でも鮮明に思い出します。幸いにして大阪大学やSPring-8は地震の被害にあわなかったのですが、東北大や茨城大など他のチームは大変な思いをされました。

Ｘ線 CT 像の例。２種類の異なるエネルギー（波長）のＸ線で撮影し、濃淡の違うを見ることで、鉱物の種類を同定した

シャープなエッジを持つ粒子(左)や丸みを帯びた粒子(右)

Neutron Activation Analysis of a Paticle Returned from Asteroid Itokawa

小惑星イトカワから回収された粒子の中性子放射化分析

海老原充 EBIHARA Mitsuru
首都大学東京大学院 理工学研究科 分子物質化学専攻 教授

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

試料に中性子を当て、その後に出るごく弱い放射線を精密に測ることで、どんな元素がどの程度含まれているかを知る手法（中性子放射化分析）を使って、試料を調べました。試料表面でなく、試料全体の元素組成を調べたことが重要なポイントです。

2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

この手法は、言ってみれば中性子をバチのように使って木琴（試料）を叩き、出る音の音階や音量で、元素の種類や量を推定する方法です。半世紀以上前から使われ、宇宙・地球化学を大きく進歩させてきました。

決して最新の手法とは言えませんが、宇宙物質を分析する上で現在で最も優れた方法だと言えるのは、①透過力の高い中性子線やガンマ線を使うので、表面だけでなく試料全体を分析することができ、②破壊せず検査できるので、試料の再利用が可能で、③一度限りの分析でも、データの信頼度が高い……、などの理由によります。

今回のはやぶさ試料のように「失敗も再分析も許されない」場合に、非常に心強い手法です。

分析には京都大学の研究用原子炉（大阪府熊取町）や、金沢大学の低レベル放射線実験施設（石川県小松市）を利用させてもらいました。

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

太陽系は「高温のガス」が出発点で、それが冷えつつ凝縮・凝集し、徐々に現在のような姿になったものと考えられています。私たちが分析した試料は、初期分析にまわされた中でも最も大きなものの１つでしたが、それでも数 μg 程度。それが中性子の照射後に割れ、１つの大きな粒子と４つの小さな粒子に分かれてしまいました。それらを別々に分析したところ、どちらもが同じような元素組成を示しました。偏りなく元素が分布、つまり「ガスだった時の均質な性質」を残しているのが、今回の試料です。太陽系のごく初期の姿を写し留めたスナップショットを私たちは見ていることになります。

また、ニッケル(Ni)、コバルト(Co)、イリジウム (Ir) の量や比率を精査したところ、一般的な隕石に比べ Ir の存在比が少ないことも分かりました。高温のガスが冷えていく過程で、Co や Ni より先に凝集した Ir が取り除かれたわけですが、そこには、いったいどんなメカニズムが働いたのか……。太陽系初期の物質移動や元素分別に関する議論が、「物証」を得たことで、俄然、熱を帯びてきました。

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

顕微鏡下でハンドリング中に、試料を見失って冷や汗を出したことがあります。

また、会長を務めている日本地球化学会では、今回の原発事故を受けて放射能強度の測定をボランティアで実施し、事故の影響評価や一般向けセミナーも行ってきました。福島の土壌採取やその測定に関しては関連学会と連携して共同作業を企画しましたが、呼びかけ・取りまとめ・実施の時期と、今回の論文作成の時期が重なり、大変な日々でした。

さらに８月にチェコのプラハで行われた地球化学の国際学会では、福島関連の特別セッションを米欧の学会と共同開催し、それにかかわる共同声明を起草・発信するという作業も行いました。これも、今回の論文の修正や共同記者会見準備と時期的に完全に重なっていました。いま思えばよくもちこたえたなと感慨を新たにします。もちろん直接の被災者の方々の大変さとは比べようもありませんが。

中性子を照射された試料は、ノイズとなる自然放射線が少ない廃鉱のトンネル内に設けられた「極低レベル放射能測定室」で長期間にわたって測定された。トンネル脇のプレハブ小屋は、測定器を冷却するための液化窒素の製造設備

Irradiation History of Itokawa Regolith Material Deduced from Noble Gases in the Hayabusa Samples

はやぶさ試料の希ガスからわかった、イトカワ表層物質の太陽風および宇宙線照射の歴史

長尾敬介 NAGAO Keisuke
東京大学大学院 理学系研究科 教授

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

試料に含まれる「希ガス」と呼ばれる元素を測定し、試料が宇宙空間にどの程度さらされていたかを推定しました。この希ガスは、太陽風や宇宙線など、宇宙空間を飛び交う粒子がイトカワ表面の砂粒にぶつかって生じたものです。

2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

風の強い日に外出すると、外套の繊維の隙間に砂埃が入り込みます。外套をはたいて落ちた砂埃が多ければ、長い時間外出していたことになりますし、砂埃が繊維の深いところまで潜り込んでいれば、強い風が吹いていたと考えられます。また砂埃そのものの性質を分析することで、どこから飛んできたものかも分かるはず。ここでいう外套が今回の試料、砂埃がヘリウムやネオンやアルゴンなどの希ガスに相当します。

希ガスを手がかりにする理由は、①化学反応をしない元素である、②ごく微量でも検出できる、③由来により同位体比が大きく変わる、といったメリットがあるから。隕石や宇宙塵の研究を支えてきた分析手法のひとつであり、膨大なデータの蓄積もあります。

一方、希ガス専用の質量分析計を作っている会社は世界に2社ぐらいしかないという、非常に特殊な分野です。私たちはレーザーで試料を加熱し、容器から出るガス成分は徹底的に排除するなど、独自の分析法を磨き、装置の改良をしながら使っています。操作も私たちだけにしかできない、世界に1つだけの分析機器です。

ただこの分析法では、希ガスを出すために加熱していくので、最後に試料は溶けてなくなってしまいます。「大きな試料をたくさん欲しい」と、なかなか言いにくいのがこの点です（笑）。

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

イトカワのやせ細っていくメカニズムを提示したところ、「イトカワは10億年でなくなる」という予言に皆さん興味を持たれたようでしたね。ただ、軌道が専門の吉川真先生（JAXA）は「1億年しないうちに惑星などに衝突してなくなる」と言っています。

「どういうメカニズムでやせ細って行くのか」が、科学的には意味のある問いになりますね。衝突による衝撃や、静電気的に表面の粒が飛び出すなどのメカニズム以外にも理由がありそうです。実験で確かめてみたいテーマも温めています。

また、過去にあったかもしれない「大衝突の痕跡」なども探せるかもしれません。

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

幸いにも震災で大きな被害はありませんでした。思い出話をさせていただくなら、「はやぶさ」出発前の2000年から初期分析チーム編成のための分析コンペが始まり、02年にほとんどのチームが決定されました。使いこなしの難しい特殊な分析機器なので、今回のために10年前のメンバーが再結集することになりました。当時学生だった諸君もそれぞれの分野で活躍しており、同窓会のような楽しい分析作業でした。

太陽から放射されたネオンが、分析したはやぶさ粒子3個に存在（#0015、#0053、#0065）

Incipient Space Weathering Observed on the Surface of Itokawa Dust Particles

イトカワ塵粒子の表面に観察された初期宇宙風化

野口高明 NOGUCHI Takaaki
茨城大学 理学部 教授

1 論文タイトルが意味するのは、つまりどういうことか？

小惑星と隕石は同じ起源と思われてきましたが、表面の色や太陽光の反射の仕方が異なっている点が長年の謎とされていました。その原因は「宇宙風化」――太陽から放出されるいろいろなエネルギーを持ったイオンや微小な隕石の衝突で、小惑星のごく表面が変化すること――であろうという有力な説がありましたが、今回、イトカワの試料を分析することで、この説を支持する決定的な証拠を得ることができました。

2 どんな分析手法や分析技術が活躍したか？

大気中の酸素や水分で試料が変化しないよう、窒素ガスの中で粒子をエポキシ樹脂に埋め込むなどして、樹脂ごとダイヤモンドの刃で非常に薄くスライスしました。さらにできる限り大気に触れないように注意しながら、出来上がった厚さ1万分の1mmの薄片を電子顕微鏡で観察したところ、興味深い事実が分かりました。

鉱物のごく表面には、鉄や硫黄やマグネシウムに富む超微粒子を含む層が見つかりました。面白いのは、それらの元素がその鉱物に含まれていなくても、こうした層ができているということです。これは、周囲の鉱物が蒸発するなどしてできた蒸気が積もったものと考えられます。似たような超微粒子の層は月の試料でも見つかっていますが、月には硫黄がとても少ないため、硫黄を含む層は見つかっていませんでした。

さらに、2価の鉄イオンを多く含む鉱物の場合、この層のすぐ下には、鉄に富む超微粒子を含む層がありました。イトカワの色合いを変えているのは、もともと鉱物に含まれていた2価の鉄イオンが還元され、金属鉄の超微粒子が生じるからだろうと考えられてきましたが、たしかにこの試料からは動かぬ証拠が見つかったわけです。

微細な試料のハンドリングや前処理、そして電子顕微鏡での観察には、私が工夫した試料作成方法とともに、半導体や液晶の製造・開発の現場で培われた最先端の機器や技術が生かされています。まさに、理学と工学の技術が結びつくことでできた仕事だと言えます。

3 今回の結果がもたらす、新たな期待や新たな謎は？

今回は、宇宙風化の組織（層構造）を観察することで、どのようにしてイトカワの上で宇宙風化が起きたかというプロセスを推定しました。次は、推定したプロセスで本当にイトカワの試料にみられるような組織ができるのか、実験的に確かめることが必要です。

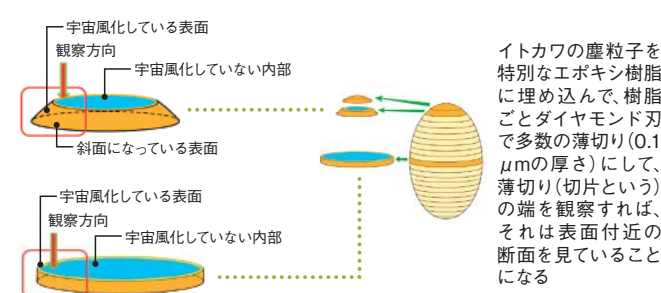
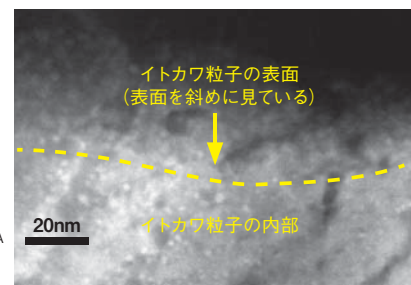
そして、イトカワ試料で見られたような宇宙風化が起きるのにかかった時間も、実験と試料の観察・分析によって明らかにできるのではないかと思います。そうすると、小惑星のスペクトルを測ることで、どのくらいの期間にわたって宇宙風化を受けたかが分かるようになるかもしれませんし、昔から調べられている月試料の宇宙風化を新たな視点から見直すこともできるかもしれません。

さらには「はやぶさ2」の探査対象天体である「1999JU3」ではどのような宇宙風化が起きているかを考える基礎にもなるのではないかと思います。

4 震災の影響や、分析時の印象深いエピソードについて。

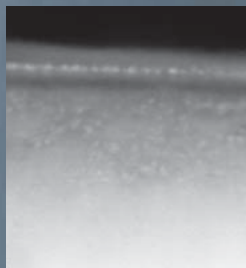
3月にヒューストンで開かれた月惑星科学会議（LPSC）で「はやぶさ」の発表が行われた日の夜（現地時間）に、震災が起きていました。翌朝、何も知らずにホテルの食堂に行き、仙台平野を突き進む津波の映像を見て衝撃を受けました。急いで部屋に戻りメールをチェックすると、同僚からも学生からも、破壊された実験室の画像が送られてきており、呆然としました。帰国してからはひたすら実験室や居室の後片付けが続き、なんだか悪い夢を見ているようでした。壊れた機器の修復なども徐々に進んではいますが、まだまだ研究を元通り再開するまでには至っていません。はやく過去形で語れるようになりたいと思っています。

イトカワ塵粒子のごく表面をどうやって観察するか

イトカワの塵粒子を特別なエポキシ樹脂に埋め込んで、樹脂ごとダイヤモンド刃で多数の薄切り（0.1μmの厚さ）にして、薄切り（切片という）の端を観察すれば、それは表面付近の断面を見ていることになる

イトカワ微粒子をごく薄く切り出した試料の縁の部分の電子顕微鏡写真。イトカワ粒子の表面とその下に、大きさ数ナノメートル以下の明るい点が多数みられる。これらが宇宙風化によって作られた鉄に富む超微粒子

46億年目の邂逅(かいこう)

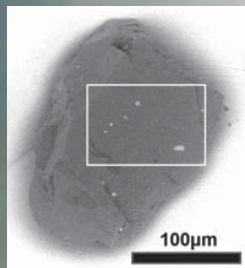
イトカワのサンプル（試料）は識別のため番号を付与される。この画像はサンプルの中でも最大のものの1つ《RA-QD02-0049》という粒子を光学顕微鏡で撮影したもの。この元素組成を詳しく分析した首都大の海老原充教授は「太陽系のごく初期の姿を留めたスナップショットを、私たちは見ていることになります」とコメントしている。

いっぽう『Science』の表紙を飾った《RA-QD01-0010》（6ページ参照）は、長軸181×短軸86μm（マイクロメートル）。ここからカンラン石や斜長石、硫化鉄などが見つかっている。

「候補画像を何点か『Science』編集部に送ったうちで、最初に送ったのがこれでした。さまざまな結晶を含み、多くの情報を読み取ることのできる典型的なサンプルです。『器量が良いね』という人もいるほどで、センターを張るにふさわしい〝優等生〟だと思います

©茨城大学/JAXA

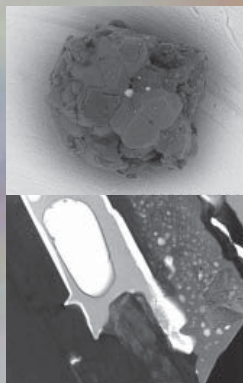
鉄に富む超微粒子を含む層は、長年の謎に決着をつける“動かぬ証拠”でした。

（茨城大・野口高明教授）

厚さ0.1μmにスライスされたサンプルの縁には、宇宙風化による層状の構造が見て取れた

©首都大学東京/JAXA

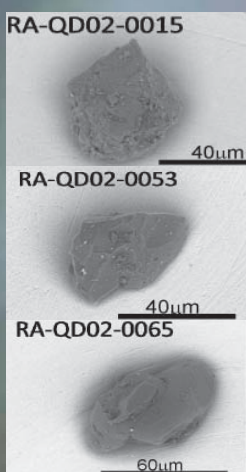
太陽系のごく初期の姿を留めたスナップショットを私たちは見ています。

（首都大・海老原充教授）

背景のカラー画像と同じ《RA-QD02-0049》。こちらは電子顕微鏡による画像

©東北大学/JAXA

強い衝撃の痕跡が見つかった試料もありました。

（東北大・中村智樹准教授）

（上）差し渡し50μm（小惑星イトカワの約1000万分の1）のサンプル《RA-QD02-0013》
（下）衝撃の痕跡を残す粒子

©東京大学/JAXA

希ガスを出すため、試料を加熱しました。

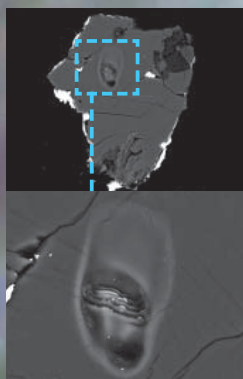
（東京大・長尾敬介教授）

分析にかけられた３つの粒子。すでに溶けてなくなっている

©大阪大学/JAXA

宝石のような美しい姿に、感激しました。

（大阪大・土山明教授）

光学顕微鏡で見たイトカワ粒子《RA-QD02-0011》。径５μmのカーボンファイバーがサンプルを支える

©北海道大学/JAXA

高速の原子を試料にぶつけ、クレーターを作りました。

（北海道大・圦本尚義教授）

100μm以下の微粒子の表面の微小な領域を掘り返した

ね」（東北大・中村智樹准教授）

これらはＪＡＸＡ相模原キャンパス（神奈川県）のキュレーション設備で、帰還したサンプルキャッチャーのＡ室から落下法（たたき落とし法）で石英板に落とし、ピックアップされたもの。

そして、例えば《RA-QD01-0010》は、兵庫県佐用町のSPring-8→茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構→水戸市の茨城大学→福岡市の九州大学→札幌市の北海道大学→仙台市の東北大学→ＪＡＸＡ相模原キャンパスと日本中を移動した。超高輝度のＸ線や電子線を照射され、ときには秒速約５００kmに達するイオンをぶつけられて表面を掘り返されるなどして、分析にかけられた。

サンプル命名規則

RA - QD01 - 0065 - 2
①　②　③　④

① RA：A室（Room A）から採取されたもの。B室からの場合はRBとなる。サンプルキャッチャーのA室、B室以外から見つかるサンプルも想定している。

② QD：いったん石英皿（Quartz Disk）に落とされてから、ピックアップされたもの。皿ごとに番号が付く。テフロン加工の「へら」の場合はTFとなる。

③ 主番号：通し番号を付与。

④ 枝番号：試料が分割された場合には枝番号を付ける。スライスしていく場合は、枝番号のない本体が残ったまま、枝番号の付いた子試料が増えていく場合もある。

※サンプル番号はＪＡＸＡで一元管理し、枝番号が増えたり試料が溶融・消滅した場合も随時更新。

ISS長期滞在ミッション 4カ月経過

Dr.古川の宇宙医学実験レポート

11月の地球帰還を控え、古川聡宇宙飛行士の長期滞在ミッションも大詰めを迎えています。8月から9月にかけて、宇宙と地上を結んで体調を診断する「宇宙医学実験支援システム」の検証と一般の方々にテーマを募った「宇宙医学にチャレンジ！」が行われました。医師の経験を生かし、身体を張ってトライした宇宙医学実験を中心にご紹介します。

2011年6月に国際宇宙ステーション（ISS）に到着してからしばらくの間、古川聡宇宙飛行士はスペースシャトルが運んできた荷物の運搬や整理などに大忙しの毎日でしたが、8月からは本格的な宇宙医学実験を実施しています。

ビスフォスフォネートを用いた宇宙での骨の減少を防ぐための実験は、これまで若田光一宇宙飛行士や野口聡一宇宙飛行士も行ったものです。ビスフォスフォネートは骨粗しょう症や尿路結石の阻害剤として、地上でも一般薬として使われています。古川宇宙飛行士はこの錠剤を週に一度服用し、適度な運動や食事によって、その効果が出るかどうかを実験しています。

また、「国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価」の実験のために、自身とマイケル・フォッサム宇宙飛行士の皮膚や粘膜などのサンプルを採取しました。この実験は、人工的な環境で宇宙飛行士に付着している微生物（特に真菌）の変化を調べることで、宇宙飛行士の健康管理に役立てることを目的としています。「長期宇宙滞在宇宙飛行士の毛髪分析による医学生物学的影響に関する研究」では、自身とフォッサム宇宙飛行士の毛髪を採取しました。

電子カルテを共有し宇宙と地上で健康診断

JAXAが開発している「宇宙医学実験支援システム」の実証実験は、ISS上の古川宇宙飛行士と筑波宇宙センターを結んで9月6日に行われ、その様子は報道関係者にも公開されました。このシステムは、軌道上の宇宙飛行士が自身で取得した医学データを見ながら、健康状態のモニタや体調管理を行えることを目的としています。

実験は、事前に軌道上で取得しておいた古川宇宙飛行士の医学データ（心音、心拍数、血中酸素飽和度、脳波など）を「宇宙医学実験支援システム」に取り込み、その解析結果である電子カルテを古川宇宙飛行士と地上の山田深医師が同時に見ながら行われました。このシステムでは、電子聴診器によって軌道上の宇宙飛行士が自分の心音を取得し、軌道上と地上で同時に聞くことができます。

古川宇宙飛行士は「聴診器を使用して自分の心音を聞くと反響など診断が難しい場合があるが、宇宙医学実験支援システムでは電子聴診器で取得した心音のデータを録音してから聞くことができるので、自己診断でも適切に行える」と述べています。

JAXA宇宙環境利用センターの小川志保さんは、「医師である古川さんは、聴診器を身体のどこに当てればいいか分かっているので、始めからきれいな心音が取れました。でも、医師ではない宇宙飛行士では難しいと思います。医学実験支援システムでの通信機能を活用して、聴診器を当てる個所を地上から適切に指示するだけでなく、今後古川さんからヒアリングを行い、飛行士自らが、より簡単に当てる位置を知ることができる機能を持たせたい」と語りました。

さらに、USBカメラを用いた診断技術の検証も行われました。ハイビジョンカメラを用いて宇宙飛行士の舌や目、顔色などを診断する実験はこれまでも行われていますが、今回はパソコンに付けた小さなUSBカメラで得られた画像をリアルタイムで地上に送って、目の結膜や舌の診断が行われました。「一定のレベルに達しているとの評価は得られましたが、古川さんからはUSBカメラの汎用性・小型性を生かしつつ、性能を向上させより精細な画像が見えるようにすると、機能性が非常によくなるという提案をもらいました」（小川さん）

古川宇宙飛行士はこの宇宙医学実験支援システムを実際に使ってみた印象として、「操作は特に難しいものではなかった」と述べるとともに、「医師の自分にとっては表示される医学データの意味はよく分かる。しかし、医師でない宇宙飛行士にとっては、医学データを理解するのは難しいのではないか。異常なデータが現れた場合に警告の表示が出るなどの機能が必要では」と、システムの改善に向けた意見も出されました。

JAXAでは今後もシステムの検証を進めるとともに、血圧計や骨密度計、X線診断装置などをISSに運んで使用することも検討しています。

宇宙で足裏の皮膚がむけるのはなぜ？

一般からテーマを公募した「宇宙医学にチャレンジ！」と「宇宙ふしぎ実験」も行いました。「宇宙医学に

8月2日実施

宇宙医学にチャレンジ！

体液シフトとサイズ変化

実験方法：頭、首、腕、手首、胸囲、腹囲、太もも、ふくらはぎ、足首の周りを測り比較。

結果：頭、手首、足首、首、胸囲は変化なし。上肢、前腕、太ももは1㎝、ふくらはぎは4㎝、ウエストは6㎝細くなりました。

解説：微小重力では体液が1.5ℓほど下肢から上半身に移動し、顔が丸くなったり、足が鳥のように細くなる現象が起きます。内臓も垂れ下がらず浮かびます。

指ー指ドッキング

実験方法：目を開けた状態と、閉じた状態で、両手をゆっくり移動させ、顔の前で指先と指先を合わせる。地上では合わせられるが、微小重力では合うのか。

結果：開眼では左右の指先がぴったり合いました。閉眼では左右の指先の位置がずれましたが、数回繰り返すと、学習効果で指先が近づきました。

解説：手の協調運動は、腕の重さなどの情報をもとに小脳が調節しています。微小重力では腕の重さが感じられないので、協調運動がうまくできません。

チャレンジ！」では、微小重力下で両手の指先を合わせてみる「指ー指ドッキング」や、全身の力を抜いたときの姿勢を調べる「ニュートラルポジション」、宇宙での血圧や体液シフトによるサイズ変化、上下感覚、宇宙酔いなどの実験が行われました。この様子は映像に収められ、JAXAウェブサイト上で公開されていますが、それぞれの実験について、古川宇宙飛行士は適切で丁寧な説明をしています。宇宙で生活している間に起こる足底の皮膚の変化を調べる実験では、いかにも医師らしく、足の裏まで見せてくれました。

「きぼう」日本実験棟では、宇宙医学実験のほかに、科学や応用分野の実験が続けられています。「マランゴニ対流におけるカオス・乱流とその遷移過程」は2008年から行われており、今回はその第4シリーズに当たります。マランゴニ対流とは、地上では観測が難しい表面張力の差によって生じる対流のことです。この実験は世界でもトップレベルの成果を挙げつつあり、将来、半導体の結晶成長などの分野での応用が期待されています。今回初めて、PAS（Particle Accumulation Structure：粒子集合構造）という貴重な現象をとらえることができました。このPAS現象は、ある条件下において、はっきりと“ある領域”に粒子が集まるものです。地上実験などで知られているのですが、詳しいメカニズムや条件などは分かっていません。代表研究者である西野耕一教授（横浜国立大学）を中心とした研究チームではこの現象を詳しく解析し、メカニズムの解明を目指します。

「タンパク質結晶生成実験」で得られたサンプルは、古川宇宙飛行士によって装置から取り出され、9月16日にソユーズ宇宙船で地球に帰還したアンドレイ・ボリシェンコ宇宙飛行士ら第27次／第28次長期滞在クルーに渡されました。「きぼう」でのタンパク実験はこれで4回目になりますが、無事、全てのサンプルが地上に帰還し、ロシアやマレーシアのサンプルも一緒に、日本の放射光施設（SPring-8）などでの解析が始まっています。

医師として 宇宙飛行士として 課題と真摯に向き合う

11年1月に打ち上げられた「こうのとり」2号機によって、「きぼう」日本実験棟で使用する「勾配炉ラック」と「多目的実験ラック」がISSに運ばれました。「勾配炉ラック」にはJAXAが開発した温度勾配炉が搭載されています。温度勾配炉は多様な温度環境を実現することが可能で、半導体などの材料実験に用いられます。「多目的実験ラック」は、ユーザーが開発した実験機器で宇宙実験を行えるようにスペースを提供するラックで、電源や通信を提供するインターフェースなどが備わっています。古川宇宙飛行士は、温度勾配炉の初期動作確認作業を担当しています。今年の春からの初期動作確認作業の中で装置内のヒーター部に問題がある可能性が指摘され、古川宇宙飛行士は、軌道上での検証や写真撮影など緻密な作業を、地上の運用管制との連携プレーで的確に対応しました。

古川宇宙飛行士はISS長期滞在クルーの一員として、アメリカやヨーロッパの実験棟で行われる実験や、ISSの各システムのメンテナンスなども行いました。さらに、医療担当クルー（クルー・メディカル・オフィサー）として、緊急時の対処に関する軌道上訓練も月に一度行いました。

ISSでの古川宇宙飛行士の活動について小川さんは、「宇宙医学実験支援システムの検証では医師の視点で、こちらがたじろぐくらいの厳しい意見ももらいました。どの実験についても、勤勉な態度があらわれていて、1つ1つの課題に向き合う真摯さが伝わってきます」と語っています。

地上での遠隔医療技術への貢献にも期待「宇宙医学実験支援システム」

「宇宙医学実験支援システム」は、軌道上で取られた脳波や血中酸素飽和度などのデータを一元管理し、電子カルテとして軌道上と地上でモニタできるシステムで、宇宙での健康管理だけでなく、地上での遠隔医療技術への貢献が期待されています。

地上にいる宇宙医学生物学研究室主任研究員・山田深医師による舌の問診

宇宙医学実験支援システムのデータ取得のため、脳波計と24時間心電図計を装着しました。データは宇宙ステーション内のラップトップコンピュータに集められ、自分で自分自身のデータを見ることができます。健康だったかな？

古川宇宙飛行士をフォローしよう！
http://twitter.com/Astro_Satoshi

9月28日撮影

ニュートラルポジション

実験方法：微小重力空間で全身の力を抜いた時の自然な姿勢を撮影。

結果：肘・股関節・膝関節や背中が曲がった中立姿勢になりました。

解説：地上では、重力で倒れないように姿勢を正したり、重力に引かれて腕が垂直に垂れます。宇宙では、力を抜くと屈筋と伸筋の張力バランスの結果、関節が曲がり中立姿勢に。地上で立っているような気をつけの姿勢をとると、背中とお尻の筋肉が張ります。重い頭を支えなくていいので肩がこりません。

足底の皮膚

実験方法：足底を下方と側方から撮影し、指先で足底を押した際の変化を観察。

結果：飛行1カ月を過ぎたころから、足底の皮膚（特に体重がかかる部分）は柔らかくなり、現在も古い表皮がむけている途中です。

解説：微小重力空間では、立って歩くことはないので足底への刺激が少なく、皮膚が柔らかくなり、古い皮膚の角質は剥離します。

「宇宙医学にチャレンジ」の実験動画はこちら
http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/furukawa/exp2/

YUI KIMIYA
ONISHI TAKUYA
KANAI NORISHIGE
〝3本の矢〟パワーで
宇宙を目指す。

油井亀美也
YUI Kimiya
1970年長野県生まれ。92年3月防衛大学校理工学専攻卒業。
92年4月防衛庁（現 防衛省）航空自衛隊入隊。
2008年12月航空幕僚監部に所属。
09年2月日本人宇宙飛行士候補者として選抜。
09年4月ISS搭乗宇宙飛行士候補者基礎訓練に参加。
11年7月、同基礎訓練を修了しISS搭乗宇宙飛行士として認定。

2011年7月、油井、大西、金井宇宙飛行士がISS搭乗宇宙飛行士に認定された。お互いの存在を〝3本の矢〟にたとえ、団結し、サポートし合いながら宇宙ステーションの機器操作からサバイバル実習まで2年あまりの訓練を終了した3人に、切磋琢磨して身に付けたもの、ISS滞在へ向けた意気込みを語り合ってもらった。

──NASAでのASCAN（宇宙飛行士候補者）訓練ではどのような訓練を受けてきましたか。

大西　コースのカリキュラムに沿って、船外活動（EVA）やロボットアーム操作の訓練、ISS（国際宇宙ステーション）のシステムに関する訓練、野外での研修、NASAの各施設の訪問、ロシア語の勉強などがありました。

油井　あとはT－38ジェットでのフライトや、地質学の勉強です。

──訓練が始まったのはスペースシャトルの退役が決まった後でした。シャトルに関する訓練はありましたか。

油井　代表的な宇宙機としてその概要を勉強しました。宇宙機の基本を学ぶにはよかったと思います。

──特に印象に残っている訓練はどんなものでしたか。

大西　私としては野外リーダーシップ訓練です。アメリカのキャニオンランズ国立公園の近くのエリアで2つのチームに分かれ、10日間、そのエリアを移動しながら活動します。日替わりでリーダーを立てて、リーダーシップを学ぶわけです。重い荷物を担いで1日中歩くというのはかなり新鮮な体験でした。

油井　航空自衛隊で経験した訓練に似たものが多かったのですが、大きなプールの中で行うEVAの訓練は初めてで、戸惑うところもありました。結構苦労しましたが、楽しかったです。

金井　私もEVAの訓練が印象に残っています。私はもともと海上自衛隊で医師としてプールの上からダイビングの指示を出していました。今度は自分が潜る側になって、いろいろ気がつくこともありましたね。

フィードバックをその場でもらい次の訓練に生かす

──先輩の宇宙飛行士からは、どんなことを教わりましたか。

大西　若田光一宇宙飛行士とは2週間に1回の定期的なミーティングがあり、訓練の状況や苦労している点について話し合う機会がありました。ほかのJAXAの宇宙飛行士の方からも自身の経験に基づいたアドバイスをもらえたのは本当によかったです。

油井　教官をやっているNASAの宇宙飛行士からも、「宇宙では実際にこういうところを注意しなければいけない」と教えてもらったり、T－38で一緒に飛んでいる間に話をしたり、ホームパーティーに呼んでもらったり、公私両面でお世話になりました。

金井　私はNASAでの部屋が、STS－114で野口聡一宇宙飛行士と一緒にEVAをしたスティーブン・ロビンソンさんと同じだったので、正式な訓練以外にもパソコン作業をしながら「あの時、聡一は大変だったんだよ」とか、「この時、俺が助けられた」とか、実際のミッション中の話を聞くことができて、とても身になりました。

ISS搭乗宇宙飛行士を目指して

油井、大西、金井宇宙飛行士は
2009年から約2年間、
宇宙機システムに関する基本操作訓練から
宇宙科学や宇宙医学の講義、語学訓練まで、
さまざまな訓練に取り組んできた。

T-38ジェットで飛行訓練

T-38は主に米空軍の戦闘機パイロット養成のために使われる2人乗りの練習機。ミッションスペシャリストは、この練習機による飛行訓練を年間100時間以上行うことが義務づけられている。パイロットは前の座席で操縦を担当し、ミッションスペシャリストは後ろの座席で地上管制官との通信やナビゲーションを担当しながら、ストレス下で複数の作業を同時に行う能力を養う。

大西卓哉
ONISHI Takuya

1975年東京都生まれ。98年3月東京大学工学部航空宇宙工学科卒業。
98年4月全日本空輸株式会社入社。
2003年6月運航本部に所属。
09年2月日本人宇宙飛行士候補者として選抜。
09年4月ISS搭乗宇宙飛行士候補者基礎訓練に参加。
2011年7月、同基礎訓練を修了しISS搭乗宇宙飛行士として認定。

大西　STS－120とSTS－130で飛んだジョージ・ザムカ宇宙飛行士とT－38での訓練で一緒だった時、フライトが終わった後、「今日のフライトについてコメントもらえますか」と聞いたら、そういう姿勢をもつことが大事で、フィードバッグをもらうようにしていると絶対いい宇宙飛行士になるというアドバイスをもらいました。それから、ずっと実践しています。

3人で支え合い課題を乗り越える

──NASAの施設を訪問して印象に残っているのはどこですか。

油井　私は、惑星探査を行っているパサデナのジェット推進研究所です。子供のころ、ボイジャー探査機が撮った写真を見て、すごいと思っていましたから。ボイジャーからはまだ電波が届いているという話を聞いて、NASAのパワーを改めて感じました。

金井　やっぱりケネディ宇宙センターですね。何回か行く機会があったのですが、一度、打ち上げ直前のアトランティスの前まで連れて行ってもらって、非常に感動しました。

大西　私もケネディ宇宙センターです。スペースシャトルを手の届く距離で見られたのはすごく印象的でした。

──お話をうかがっていると、バックグラウンドが違うところもあるし、共通しているところもある3人が、とてもうまい組み合わせで訓練に臨めた気がしますがいかがですか。

大西　まさにその通りだと思います。〝3本の矢〟ではないですが、3人で相談すればだいたい解決するというか、3人いたというのはすごく心強かったです。

油井　金井さんが加わってくれた時は本当にうれしかったですからね。

大西　訓練スケジュールが微妙に3人で違っていて、先にその訓練を済ませている人が必ずいるので、その人をつかまえて、どこでつまずいたのか、どこに気を付けないといけないか、事前に情報収集するんです。逆に、3人の中で一番最初に自分が訓練に入る時はきついですけどね（笑）。

──ASCANクラスにはアメリカとカナダの宇宙飛行士候補者がいましたが、皆仲が良さそうでしたね。

大西　筑波宇宙センターに来た時は、カラオケで盛り上がりましたよ。

金井　訓練で求められるレベルは非常に高く、みんな一生懸命勉強しました。そういう環境がクラスの団結心を強めたのではないかと感じています。

ISS長期滞在に向けてここからがスタート

──宇宙飛行士としての今後の目標についてうかがいたいと思います。

大西　引き続きISSの長期滞在に向けて、今できることをやっていきたい。それと、これからはNASAの中でジョブ・アサインメントといって、実際の業務に携わる機会が与えられます。マネジメントやリーダーシップを学ぶ機会にもなると思いますので、与えられた仕事を着実にやって行きたいと思います。

油井　訓練を受けて、身に付けなければいけないことが山ほどあることが分かりました。これからもいろいろな訓練に参加して能力を高め、実際に宇宙で人々のためになる仕事をしたいと思います。それからとても個人的なことになってしまいますが、訓練期間中はずっと単身赴任でした。これからは家族を大切にしながら宇宙飛行士としての目標も高く持ってやって行きたいと思っています。

金井　2年間訓練を受けて、ようやくスタート地点に立ったかなという感じがしています。さらに知識や技量を伸ばしていかないとい

巨大プールを使った船外活動訓練

ジョンソン宇宙センターにある無重量環境訓練施設には、縦60m、横30m、深さ12mのプールにISSの模型が沈められている。宇宙で着るのと同じような宇宙服に重りをつけてプールに潜り、水から受ける浮力と重力をバランスさせて「中性浮力」の状態を作り出す。船外活動を最初から最後まで通しての訓練では、6時間以上潜って活動することも。

ロボットアームの操作訓練

ISSのロボットアームの運用に必要な知識を習得するため、システム概要や、ロボットアームの構造・設計概念、ロボットアームに取り付けられたカメラの操作方法、宇宙ステーション補給機「こうのとり」の把持およびリリース操作などについて、シミュレーターでの実技や講義、模型を使用したイメージトレーニングを行う。

出典：JAXA/CSA

金井宣茂
KANAI Norishige

1976年千葉県生まれ。2002年3月防衛医科大学校医学科卒業。
02年4月～ 防衛医科大学校病院、自衛隊大湊病院、自衛隊呉病院、等。
09年6月海上自衛隊第一術科学校衛生課に所属。
09年9月日本人宇宙飛行士候補者として採用。
ISS搭乗宇宙飛行士候補者基礎訓練に参加。
2011年7月、同基礎訓練を修了しISS搭乗宇宙飛行士として認定。

けません。NASAでの仕事を一生懸命やって、宇宙でのミッションとはどういうものなのかをきちっと把握し、自信を持って仕事ができるレベルに達しないといけないと考えています。

日本のもつ可能性を宇宙を通じ伝えていきたい

――当面の目標となると、やはりISSの長期滞在だと思います。古川聡宇宙飛行士のISSでの活躍をご覧になって、どのように感じていますか。

大西　分刻みのスケジュールですから、すごく大変だろうと思います。その中で頑張っている様子がツイッターなどからも感じられます。

油井　ロシアでの訓練の合間にヒューストンに戻ってきた時、相談に乗ってもらったことがありました。疲れていると思うのですが、古川さんはいつも笑顔で、私たちも安心して話ができました。

金井　古川さんのようにどんなにつらくても笑顔を絶やさず、分刻みのスケジュールでもバリバリ仕事をこなすことを目指していかなければと思います。

――金井さんは古川さんと同じ医師としてのバックグラウンドがあるわけですから、地球に帰ってきたら聞きたいことがたくさんあるのではないですか。

金井　打ち上げ前はなかなか話をする機会がありませんでした。自分の専門をどうやって将来のミッションに生かしていけばよいのか、勉強しなければいけないと思っていますので、古川さんから話が聞けるのが楽しみです。

――最後にもう1つ質問させていただきます。日本はまだ大震災からの復興の途中です。JAXAの宇宙飛行士として、日本の若い人たちや子供たちに伝えていきたいと思っていることはありますか。

大西　今自分がやらなければならないことを一生懸命やる大切さを伝えていきたいです。これからは子どもたちと顔をあわせて話をすることもたくさんあると思いますので、そういう機会を大事にしたいと思っています。

油井　アメリカにいて思ったのですが、アメリカに行ったからこそ分かる日本の良さがいっぱいありました。私たちには大きな可能性があるんだということを知ってほしいですね。

金井　油井さんと一緒ですが、加えて、日本の技術はNASAでも非常に高い評価を受けていると強く感じました。そういう分野の勉強や研究を続けて道を拓いていけるように自分も頑張るし、若い人たちにも頑張ってほしいということを伝えていきたいです。

無重量体感訓練

KC-135という大型のジェット機を使った訓練。無重量環境のもとで、空間認識や身体動作の変化、物理現象について理解する。一度の飛行で30～40回のパラボリックフライト（放物線を描く飛行）を行い、1回あたり約20秒間の無重量環境を体験する。

野外リーダーシップ訓練

宇宙飛行で重要な自己管理やリーダーシップ、フォロワーシップなどのチームワーク、状況に応じた判断方法などを理解・習得するための訓練。訓練中は、参加したメンバーの中で毎日リーダーを交替し、全員で協力しながら野外生活を送る。写真は米国ユタ州のキャニオンランズ国立公園周辺で行われた時のもの。

地質学研修

地球観測の基礎や、将来の探査ミッションを見据えた実地研修。断層の観察や重力測定による地層調査、岩石の分析などを通して、地質学の知識を深める。

ロボットアームの操作訓練以外の画像出典:JAXA/NASA

最前線

INFORMATION 1

愛称は「しずく」に 第一期水循環変動観測衛星GCOM-W1

今年度に打ち上げを予定している第一期水循環変動観測衛星(GCOM-W1:Global Change Observation Mission 1st-Water)の愛称が「しずく」に決定しました。7月から8月にかけて愛称を募集し、過去最高の2万998件もの応募をいただきました。その中で「しずく」は、1,392件ともっとも多くの応募をいただきました。「しずく」のミッションは、雨や水蒸気の量、海水の温度など地球上の水の動きを観測することです。その観測データは、地球環境変動の研究や気象予測、漁業などへの活用が期待されています。一滴のしずくが雨となり、海に流れ、水蒸気になり、氷にもなる。「しずく」は、水の循環を宇宙から見つめ、地球環境の仕組みを探っていきます。

「しずく」の最新状況はこちらでご覧いただけます。
http://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom_w1/

INFORMATION 2

陸域観測技術衛星「だいち」海上保安庁より表彰

JAXAと海上保安庁は、2006年12月より「だいち海氷プロジェクト」を開始。陸域観測技術衛星「だいち」の合成開口レーダPALSARを用いて、毎年オホーツク海に現れる流氷を週に2～3回、1回に350kmの幅で観測し、「海氷マップ」の情報として、海難防止のために貢献してきました。JAXA宇宙利用ミッション本部および「だいち」の多年にわたる海上保安庁への衛星画像提供に対して、日本が独自に海図を作成するために海洋調査業務を開始して140年目となる水路記念日(9月12日)に、第一管区海上保安本部長表彰が授与されました。現在、「だいち」の後継機「ALOS-2」の開発が進められており、広域観測と高分解能観測を両立させた技術を発展させ、さまざまなユーザーによる利用の実現を目指しています。

前列右から上村治睦主任開発員、蔭山邦幸主任開発員、滝口太防災室長

INFORMATION 3

「おりひめ・ひこぼし」、「きぼう」のロボット技術および「はやぶさ」プロジェクトチームがアメリカ航空宇宙学会より表彰

技術試験衛星Ⅶ型「きく7号(おりひめ・ひこぼし/ETS-Ⅶ)」および、「きぼう」日本実験棟での先進的な宇宙ロボット技術の開発・運用に対してアメリカ航空宇宙学会(AIAA)から「2011 AIAA Space Automation and Robotics Award」を受賞しました。今回の受賞は、「きぼう」の打ち上げに先立ち米国のスペースシャトルSTS-85(1997年8月打ち上げ)を用いて実施した、世界初の宇宙空間における精密ロボットアーム運用実験(マニピュレータ飛行実証試験MFD:Manipurator Flight Demonstration)、および「きく7号(おりひめ・ひこぼし)」(1997年11月打ち上げ)における衛星搭載ロボットアームの地上からの遠隔制御実験の実績を讃えるものです。

また、JAXAの「はやぶさ」プロジェクトチームが「2011 AIAA Space Operations and Support Award」を受賞しました。この賞は、宇宙技術における課題を克服するために払われた優れた努力に対して贈られるもので、数々の困難を乗り越えて小惑星サンプルリターンを世界で初めて達成したことが高く評価されました。

おりひめ・ひこぼし紹介サイト
http://www.jaxa.jp/projects/sat/ets7

MFD:マニピュレーター飛行実証試験紹介サイト
http://iss.jaxa.jp/shuttle/flight/mfd/

左からJAXAの西田信一郎上席研究員、小田光茂主幹研究員、國中均教授、川口淳一郎教授、佐藤隆久上席、上杉邦憲名誉教授

INFORMATION 4

神戸大学大学院国際文化学研究科と人文・社会科学分野に関する協力協定を締結

JAXAでは、2010年10月より専任の人文・社会科学コーディネータを大学等連携推進室に設置し、大学との新たな研究連携の一環として、人文・社会科学分野における研究連携活動をスタートしています。11年10月3日、その成果の1つとして、JAXA大学等連携推進室と神戸大学大学院国際文化学研究科との間において、人文・社会科学分野における研究連携協力協定が締結されました。

神戸大学側の研究代表者であり、「宇宙人類学」を提唱されている岡田浩樹教授（文化人類学）は、「宇宙は、文化人類学者にとって魅力的なフィールド。人が宇宙に行く、ということを『移民』として捉え研究することもできる」と今後の連携活動に対する抱負を語っています。「人は、なぜ宇宙に行くのか」「宇宙への進出は人間にどのような貢献をもたらすのか」といった、長年にわたり繰り返し議論されてきたテーマについては、先行研究としてJAXA協力の下、国際高等研究所が「宇宙問題への人文・社会科学からのアプローチ」（09年3月）などを発表した実績がありますが、本連携協定では、これまでの成果を改めて異なる視点から捉え直すことによって、新たな知見を創出すべく活動を進めていきます。理工学分野での連携協定が多かったJAXAにとっては画期的な試みとなる今回の協力協定締結。今後の研究成果にご期待ください。

安部隆士・JAXA大学等連携推進室長（左）と阪野智一・神戸大学国際文化学研究科長（右）

JAXAと大学等との連携状況はこちらでご覧いただけます。
大学等連携推進室ウェブサイト
http://collabo-univ.jaxa.jp/

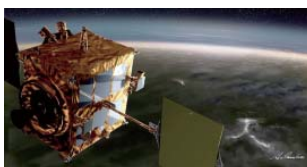
INFORMATION 5

金星探査機「あかつき」

軌道制御用エンジンのテスト噴射実施

金星探査機「あかつき」の今後の金星再会合に向けた軌道変更の検討の一環として、軌道制御用エンジン（OME）の第1回テスト噴射（※1）を9月7日、第2回テスト噴射（※2）を14日に実施しました。その結果、OMEでは今後の軌道制御に有効な推進力が得られないことが分かりました。OMEは破損が進行したと考えられるため、今後の使用を断念することとしました。その結果を受け、今後は姿勢制御用スラスタ（RCS）による軌道制御および金星軌道への再投入をめざすこととし、11月上旬に「あかつき」が近日点を通過するタイミングで、RCSによる軌道制御を実施する予定です。「あかつき」による観測成果を最大化すべく、軌道および投入方法を関係者で検討しています。

※1：姿勢外乱（エンジンの本来の推力方向でない向きに推力が発生する等）の定量的把握を目的とし、噴射時間は約2秒（計画通り）
※2：OME噴射状況の再確認等を目的とし、噴射時間は約5秒（計画通り）

「あかつき」の最新状況はこちらでご覧いただけます。
●「あかつき」チームツイッター
http://twitter.com/Akatsuki_JAXA
●「あかつき」プロジェクトサイト
http://www.stp.isas.jaxa.jp/venus/

ⓒ池下章裕

INFORMATION 6

第62回国際宇宙会議（IAC）開催

JAXA白木技術参与が第35回Allan D. Emil記念賞授与

JAXAブースでは来年打ち上げ予定の「しずく」（GCOM-W1）などによる日本の地球観測衛星による世界への貢献や「はやぶさ」イオンエンジンが展示・紹介されるなど、学会参加の学生から研究者まで多くの関心を集め、最終日の一般公開日含め会期中5日間で、総計1,400人の来訪者が訪れた。（上）子供達の質問に答える阪本成一教授

10月3日から7日にかけて、南アフリカ共和国のケープタウンで第62回国際宇宙会議（IAC）が開催されました。3日に行われた宇宙機関長パネルに出席した立川敬二理事長は、宇宙ステーション補給機「こうのとり」や準天頂衛星初号機「みちびき」の打ち上げ成功、日本の宇宙飛行士の活動報告、今年12月に日本で行うISS利用ワークショップや、アジア太平洋地域宇宙機関会議（APRSAF）の活動を紹介。そのほか、東日本大震災時の各国の支援への謝辞を述べました。また、国際宇宙ステーションの成功と輸送システム技術への貢献が認められ、白木邦明技術参与が第35回Allan D. Emil記念賞を授与されました。

宇宙機関長パネルに登壇する立川理事長

INFORMATION 7

「宇宙の日」作文絵画コンテスト表彰式開催

9月24日、日本科学未来館で「『宇宙の日』全国小・中学生作文絵画コンテスト」の表彰式が行われました。このコンテストは、9月12日の「宇宙の日」（※）の記念行事で、宇宙開発の普及啓発を行うとともに、好奇心・創造力を育成することを目的として毎年実施されています。今年度は2万件を超える多数の応募があり、審査の結果選ばれた小中学生が表彰式に招待され、各主催者の代表から賞状と副賞の授与が行われました。

日本科学未来館での表彰式

※1992年は、世界中が協力して宇宙や地球環境について考える国際宇宙年だった。日本でも、国際宇宙年をきっかけに宇宙の普及活動を行おうと、一般の方々から「宇宙の日」にふさわしい日を公募、毛利衛宇宙飛行士が初めて宇宙へ飛び立った日である9月12日が「宇宙の日」に選ばれた

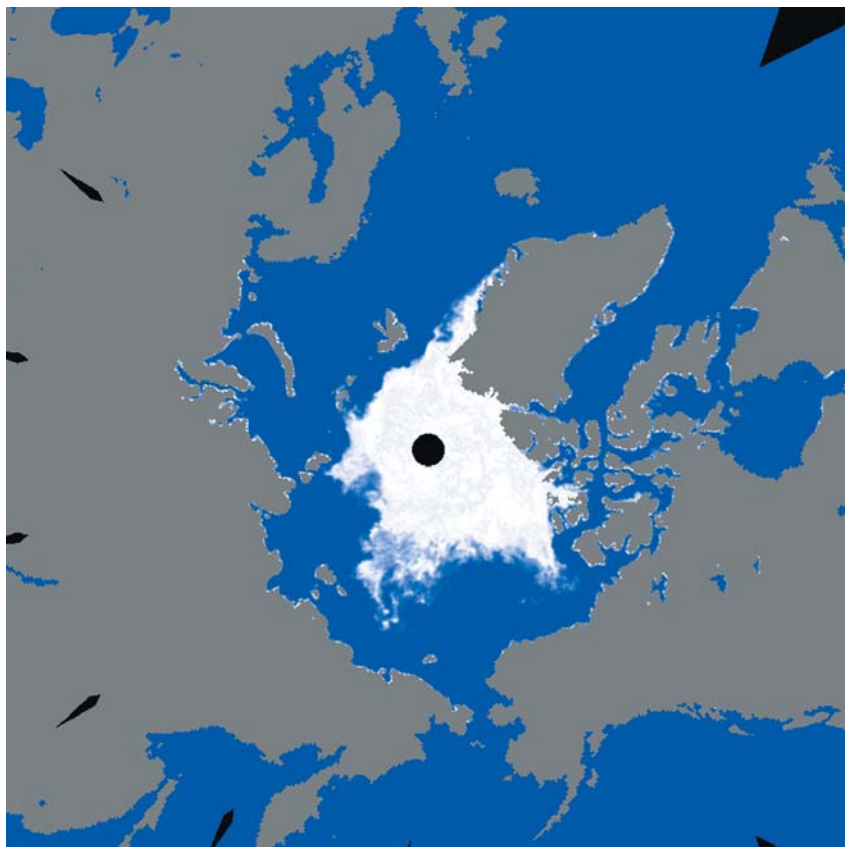
JAXA's
宇宙航空研究開発機構機関誌 No.041

発行企画●JAXA（宇宙航空研究開発機構）
編集制作●財団法人日本宇宙フォーラム
デザイン●Better Days
印刷製本●株式会社ビー・シー・シー

2011年11月1日発行

NEWS

北極海の海氷面積 観測史上2位の小ささに

北極海の海氷密接度の最新画像および過去に観測された画像は、
北極海海氷モニターウェブサイト上で公開しています。
http://www.ijis.iarc.uaf.edu/jp

AMSR-Eが捉えた2011年9月9日の北極海氷分布　ⒸJAXA

融解最小時期の北極海氷分布
（上：1979年 中：2007年 下：2011年）
2011年は、シベリア沿岸からすっかり海氷がなくなっており、また、カナダの多島海でも島と島の間に広く水路が開いている様子が分かる

JAXAが開発・運用した改良型高性能マイクロ波放射計（AMSR-E）は、アメリカの地球観測衛星「Aqua」に搭載された高性能マイクロ波放射計で、地球から放射される微弱な電波を観測することで、海氷や海面水温、水蒸気、降水などを昼夜の区別なく天候にも左右されずに観測してきました。

AMSR-Eが観測した海氷データを解析した結果、今年の北極海の海氷の最小面積は、453万㎢（９月９日現在）となり、衛星観測史上最小面積を記録した2007年（425万㎢）に次ぐ小ささにまで縮小したことを確認しました。また、海氷密接度（※）では2007年を下回り、史上最小を記録したことが分かりました。さらに、AMSR-Eによる観測で、今年春の海氷状態は、前年に比べて薄い氷で広く覆われた状態であったこと、また、記録的な密接度低下を伴う海氷縮小により、今夏はロシア側、カナダ側の両方の北極海航路から海氷が消失したことが明らかとなりました。

AMSR-Eは設計寿命３年のところ、９年を超えて運用してきましたが、日本時間10月４日、定常観測に必要な回転速度（毎分40回転）を維持する限界に達したため、観測および回転を自動で停止しました。JAXAは、AMSR-Eの後継として、AMSR2を搭載した第一期水循環変動観測衛星「しずく」（GCOM-W1）を打ち上げる予定です。

※海氷密接度：海氷域内のある領域を対象とした、氷に覆われている海面の割合

空へ挑み、宇宙を拓く
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

広報部　〒100-8260 東京都千代田区丸の内1-6-5
丸の内北口ビルディング3階
TEL:03-6266-6400　FAX:03-6266-6910

JAXAウェブサイト　http://www.jaxa.jp/
メールサービス　http://www.jaxa.jp/pr/mail/
JAXA's配送サービス　http://www.jaxas.jp/